干酪乳酪杆菌IOB–P9燕麦后生元对高脂饮食诱导肥胖大鼠体脂代谢及肝功能的改善效应

赵范，孙韵琪，闫梦娜，张思超，王海宽，付田民，梁武*

（天津市食用益生菌重点实验室，天津 300301）

摘要：为了探讨干酪乳酪杆菌 IOB-P9 燕麦后生元对高脂饮食诱导肥胖大鼠的代谢改善作用，该研究通过连续 6 周灌胃干预，测定大鼠体质量、血清生化指标及肝组织病理变化。结果表明，IOB-P9 燕麦后生元显著提高了高密度脂蛋白胆固醇水平（HDL-C，升幅 20.98%~55.94%），同时显著降低了总胆固醇（TC，降幅 14.40%~30.48%）、甘油三酯（TG，降幅 53.86%~71.77%）、低密度脂蛋白胆固醇（LDL-C，降幅 31.92%~46.92%）及空腹血糖（Glu，降幅 42.22%~70.94%）。此外，血清瘦素（LEP）和皮质酮（CORT）水平分别下降 40.10%~57.93% 和 20.90%~40.16%（P<0.05）。肝功能方面，丙氨酸氨基转移酶（ALT）和天门冬氨酸氨基转移酶（AST）活性分别降低 59.65%~74.88% 和 37.31%~59.88%，碱性磷酸酶（ALP）水平亦明显改善。肝组织病理学分析显示，干预组脂肪变性减轻，细胞排列趋于正常。综上，IOB-P9 燕麦后生元可通过调节脂代谢、改善激素水平及修复肝损伤显著缓解肥胖相关代谢紊乱，为功能性食品开发提供了理论依据。

关键词：干酪乳酪杆菌；燕麦；后生元；肥胖；血脂；益生菌

文章编号：1673-9078(2026)10-132-140 DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2026.10.1058

Effects of *Lactobacillus casei* IOB-P9 Oat Postbiotics on Body Fat Metabolism and Liver Function in High-fat Diet-induced Obese Rats

ZHAO Fan, SUN Yunqi, YAN Mengna, ZHANG Sichao, WANG Haikuan, FU Tianmin, LIANG Wu*

(Tianjin Key Laboratory of Edible Probiotics, Tianjin 300301, China)

Abstract: The metabolic improvement effects of *Lactobacillus casei* IOB-P9 oat postbiotics on high-fat diet-induced obese rats were investigated through 6 consecutive weeks of gavage intervention, followed by measurements of body weight, serum biochemical indices, and liver histopathological changes. The results demonstrated that IOB-P9 oat postbiotics led to a significant increase in high-density lipoprotein cholesterol (HDL-C, 20.98%~55.94%), while total cholesterol (TC, 14.40%~30.48%), triglycerides (TG, 53.86%~71.77%), low-density lipoprotein cholesterol (LDL-C, 31.92%~46.92%), and fasting glucose (Glu, 42.22%~70.94%) were significantly reduced (P<0.05). Additionally, serum leptin (LEP) and corticosterone (CORT) levels were decreased by 40.10%~57.93% and 20.90%~40.16%, respectively (P<0.05). In terms of liver function, the activities of alanine aminotransferase (ALT) and aspartate aminotransferase (AST) were reduced by 59.65%~74.88% and 37.31%~59.88%, respectively, whereas the alkaline phosphatase (ALP) activity was significantly improved. Histopathological analysis of liver tissues revealed that hepatic steatosis was alleviated, and cell arrangement was restored to near-normal in the intervention group. In conclusion, IOB-P9 oat postbiotics significantly ameliorated obesity-related metabolic disorders by regulating lipid metabolism, improving hormonal balance, and repairing liver damage, thereby providing a theoretical foundation for the development of functional food.

Key words: *Lactobacillus casei*; oats; postbiotics; obesity; blood lipids; probiotics

收稿日期：2025-07-29；修回日期：2025-09-25；接受日期：2025-09-28

基金项目：天津市科技支撑重点项目（S25ZC58332）

作者简介：赵范（1987-），女，硕士，工程师，研究方向：燕麦麸多糖分离纯化及降血糖作用研究，E-mail：A2052956630@163.com

通讯作者：梁武（1968-），男，博士，研究员，研究方向：发酵工程，E-mail：13388059278@163.com

引文格式：

赵范,孙韵琪,闫梦娜,等.干酪乳酪杆菌IOB-P9燕麦后生元对高脂饮食诱导肥胖大鼠体脂代谢及肝功能的改善效应[J].现代食品科技,2026,42(10):132-140.

ZHAO Fan, SUN Yunqi, YAN Mengna, et al. Effects of *Lactobacillus casei* IOB-P9 oat postbiotics on body fat metabolism and liver function in high-fat diet-induced obese rats [J]. Modern Food Science and Technology, 2026, 42(10): 132-140.

随着社会经济的发展，肥胖的发病率呈现逐年上升趋势。研究表明，肥胖与多种重大疾病的发生风险显著相关[1,2]，因此对肥胖的预防和控制具有重要意义。

肥胖与血糖具有紧密联系，减少能量摄入、调节饮食是改善肥胖的有效方法[3]。研究表明，燕麦具有降低血糖的作用，这意味着它可能具有减肥的潜力[4]。燕麦中富含膳食纤维，能够增加人体有益菌的数量，改善肠道菌群平衡，并降低患心血管疾病的风险[5]。同时，燕麦中的膳食纤维还能够吸收大量水分，在肠胃中形成高粘度的溶胶，延缓胃肠排空时间，产生饱腹感，减少进食量[6]，有效降低肥胖的发生。

燕麦具有耐寒、耐旱、耐瘠薄等特性，种植适应性强。这些特性不仅赋予其显著的种植优势，还使燕麦作为发酵底物时能有效降低生产成本，并提升经济效益[7]。肥胖通常伴随慢性低度炎症，干酪乳酪杆菌分泌的细胞外囊泡能抑制促炎细胞因子的释放，改善代谢健康[8]。同时，肥胖也常伴随胰岛素抵抗和糖代谢紊乱。研究显示，干酪乳酪杆菌能调节葡萄糖转运蛋白的活性，减少肠道对葡萄糖的过度吸收，从而降低血糖波动和脂肪合成[9]。此外，干酪乳酪杆菌还可能通过免疫调节间接抑制脂肪细胞分化。例如，*Lactobacillus casei* N1115 与巨噬细胞共培养后，其代谢产物能显著抑制大鼠前脂肪细胞（3T3-L1）的分化，减少脂肪蓄积[10]。

后生元在减肥方面具有显著优势，后生元是灭活菌体及其代谢产物的统称，具有结构明确、耐热耐酸、易于标准化生产等优势，避免了活菌潜在的耐药基因转移风险。后生元通过短链脂肪酸（如乙酸、丙酸）激活肠道胰高血糖素样肽-1 和瘦素通路，增强饱腹信号，从而通过多重机制发挥减肥作用[11-14]。

肥胖容易引起多种心血管疾病，改善肥胖具有重要的现实意义[15]。干酪乳酪杆菌能够影响脂肪的储存和代谢，帮助身体更有效地分解脂肪，减少脂肪的积累。此外，发酵燕麦本身富含膳食纤维，能够进一步增强这种效果，改善肥胖状态。膳食纤维被盲肠和结肠的微生物群代谢，主要产物是短链脂肪酸，特别是乙酸、丙酸和丁酸[16]。研究表明短链脂肪酸可以调节肠道激素的分泌，如胰高血糖素样肽-1 和酪酪肽，从而调节食欲和能量代谢，对体重控制有积极影响[17]。

在之前的研究中，干酪乳酪杆菌 IOB-P9 展示出具有抑制幽门螺旋杆菌繁殖的能力[18]，并且具有一定的降糖效果[19]，为了探究其在减肥方面的潜力，本文以干酪乳酪杆菌 IOB-P9 燕麦后生元为研究对象，使用干酪乳酪杆菌 IOB-P9 燕麦后生元干预治疗肥胖大鼠后，测定了肥胖大鼠的体质量、Lee's 值、脂体比、血清的生化指标，并对肝组织进行 HE 染色和油红染色，探究干酪乳酪杆菌 IOB-P9 燕麦后生元能否改善肥胖大鼠的相关指标。本研究获得的结论为干酪乳酪杆菌和燕麦的进一步研究提供了一定的理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 主要试剂

燕麦，山东禾谷食品有限公司；干酪乳酪杆菌 IOB-P9，天津创源生物技术有限公司；MRS 肉汤培养基、MRS 琼脂，青岛海博生物技术有限公司；无水乙醇，天津市富宇精细化工试剂有限公司；环保型脱蜡剂，武汉赛维尔生物科技公司；1% 伊红，北京雷根生物生物科技有限公司；苏木素染液，北京索莱宝科技有限公司；中性树胶，中国上海懿洋仪器有限公司；盐酸、乙醇，天津市科密欧化学试剂有限公司；饱和油红 O 染色液，北京索来宝科技有限公司；瘦素试剂盒，南京森贝伽生物科技有限公司。

1.1.2 主要仪器

mindray BS-240VET 型动物专用全自动生化仪，深圳迈瑞生物医疗电子股份有限公司；SOPTOP OD630K 型倒置显微镜，上海舜宇恒平科学仪器有限公司；BH2-RFCA 型荧光显微镜，日本 OLYMPUS；Forma 型恒温培养箱，美国 Thermo；SW-CJ-1FD 型超净工作台，苏州净化设备有限公司；800TS 型酶标仪，美国 Bio-tek。DHG-9023A 型烘箱，上海合恒仪器设备有限公司；FG-350Y 型粉碎机，永康市多吉科技有限公司。

1.1.3 受试材料

干酪乳酪杆菌 IOB-P9 燕麦后生元高剂量：2×10^9 CFU/mL、低剂量：1×10^8 CFU/mL。

低剂量组灌胃剂量每天 0.5 mL；灌胃质量浓度 0.034 g·mL^{-1}（0.68 g 样品使用 20 mL 纯净水进行冲调，现用现配）。

高剂量组灌胃剂量每天 0.5 mL；灌胃质量浓度 0.055 g·mL^{-1}（1.1 g 样品使用 20 ml 纯净水进行冲调，现用现配）。

1.2 实验方法

1.2.1 干酪乳酪杆菌IOB-P9发酵燕麦后生元粉的制备

1.2.1.1 菌株活化与培养

将冻存管中的 IOB-P9 菌种接种至斜面培养基，于 35~39 ℃恒温培养 16~24 h，待斜面种子菌落形态均一、菌体粗壮后，取单菌落接种至含 25 mL 2% 燕麦粉的液体培养基中，35~39 ℃振荡培养 16~20 h 制备一级种子液；按固态培养基（燕麦基质）料水比 1:1~2、接种量 1×10^6~5×10^9 CFU/mL 将种子液接入固态培养基，34~38 ℃静置培养 24~48 h 获得发酵产物。

1.2.1.2 烘干处理

将发酵原料于 55~60 ℃烘干 24~48 h 至水分含量≤10%，制得干酪乳酪杆菌 IOB-P9 燕麦后生元粉（无活菌）。

1.2.2 动物实验

1.2.2.1 肥胖大鼠模型的制备与分组

选用清洁级雄性 SD 大鼠（3~4 周龄）：易生源基因科技（天津）有限公司，许可证号：SYXK（津）2021-0003。动物饲养条件为温度（22±2）℃，相对湿度 40%~60%，照明时间 12 h。分笼饲养，自由饮水，定期清洗鼠笼，适应 5 d 后开始实验。所有动物实验均遵循天津市医学实验动物保护中心的指导原则，动物实验方案经易生源基因科技（天津）有限公司的动物伦理委员会批准（方案号 YSY-DWLL-2023639）。

大鼠适应 5 d 后分为 4 组，每组 10 只，其中包括空白对照组、模型组、实验低剂量组、实验高剂量组。空白对照组给予维持饲料，其余大鼠给予高热量饲料制备肥胖大鼠模型。造模结束后，将实验大鼠分为模型组、空白组、实验低、高剂量组。实验期间，模型组与空白对照组给予等量生理盐水，实验组给予低剂量干酪乳酪杆菌 IOB-P9 燕麦后生元粉 0.5 mL（灌胃浓度 0.034 g·mL^{-1}）和高剂量干酪乳酪杆菌 IOB-P9 燕麦后生元粉 0.5 mL（灌胃浓度 0.055 g·mL^{-1}）。每日一次，持续灌胃 10 周。每周对大鼠进行麻醉后记录大鼠的体质量变化。10 周后统一对大鼠进行处死，进行指标的检测。

1.2.2.2 大鼠体重与Lee's值和脂体比的测定

实验过程中观察大鼠的健康状况，每周测定大鼠的体质量，观察大鼠实验期间体质量变化情况；大鼠处死前在麻醉状态下测量体长（鼻至肛门的长度），然后计算 Lee's 值。

$$L=\frac{3\times m}{l}\times 10^3 \quad (1)$$

式中：

L——Lee's 指数，g·cm^{-1}；

m——大鼠体质量，g；

l——大鼠体长，cm。

大鼠处死放血后，剖取肾脏及生殖器周围全部脂肪，称量，计算脂体比。

$$F=\frac{m_1}{m_2}\times 100\% \quad (2)$$

式中：

F——脂体比，%；

m_1——脏器脂肪，g；

m_2——体质量，g。

1.2.2.3 大鼠血清生化指标的测定

对大鼠最后一次灌胃后，禁食不禁水，处死大鼠后，摘眼球法取大鼠全血，于 3 500 r·min^{-1} 离心机中离心 15 min，吸取上层血清，按照试剂盒说明书测定大鼠测定总胆固醇（Total Cholesterol, TC）、甘油三酯（Triglyceride, TG）、高密度脂蛋白胆固醇（High Density Lipoprotein Cholesterol, HDL-C）、低密度脂蛋白胆固醇（Low Density Lipoprotein Cholesterol, LDL-C）、空腹血糖值（Glucose, Glu）、血清瘦素（Leptin, LEP）、血清皮质酮（Corticosterone, CORT）以及肝肾功能指标丙氨酸氨基转移酶（Alanine Aminotransferase, ALT）、天门冬氨酸氨基转移酶（Aspartate Aminotransferase, AST）、碱性磷酸酶（Alkaline Phosphatase, ALP）的含量。

1.2.2.4 肝组织HE染色与油红染色

将肝组织标本置于 4% 多聚甲醛溶液中固定 24 h，经梯度乙醇脱水、石蜡浸蜡包埋后，制备 5 μm 厚切片，贴片后经烤片处理。采用苏木精－伊红（HE）染色法进行常规组织学染色，并采用油红 O 染液染色 10 min。最后于光学显微镜下观察，随机选取 3 个典型视野进行图像采集。

1.2.3 统计学分析

实验数据采用 GraphPad Prism 进行统计分析，结果以平均值 ± 标准误差表示，使用 one-way ANOVA 进行显著性分析。

2 结果与讨论

肥胖的发生发展与能量代谢失衡、脂质代谢紊乱、激素调节异常及炎症反应等相关。当机体摄入的能量长期超过消耗时，多余的能量会以脂肪形式储存，导致体脂堆积，进而引发肥胖。同时，肥胖状态下，体内瘦素等激素水平异常，瘦素抵抗现象出现[20]，使得机体对能量平衡的调节失控。脂质代谢方面，TC、TG、LDL-C 等脂质指标升高，HDL-C 降低，进一步加剧了肥胖相关的代谢紊乱[21]。此外，肥胖还常伴随慢性低度炎症，对机体各器官功能产生不良影响，其中肝脏作为脂质代谢的重要器官，其功能受损（如 ALT、AST 等指标升高）也与肥胖的发展存在密切联系[22]。因此本研究围绕以上指标进行检测，研究结果如下所示。

2.1 对大鼠体质量的影响

文献报道特定乳酸菌株可能具有促进生长的作用[23]。为了观察 IOB-P9 燕麦后生元粉对大鼠的影响，每周观察大鼠的状态并测定大鼠的体质量。大鼠实验期间精神状态良好，如图 1 所示，各组大鼠体质量呈现缓慢增长的状态，模型组的体质量高于空白对照组和实验组，各组大鼠之间体质量无显著差异。表明 IOB-P9 燕麦后生元粉对大鼠不具有促生长的作用，同时对大鼠生长无不良影响。

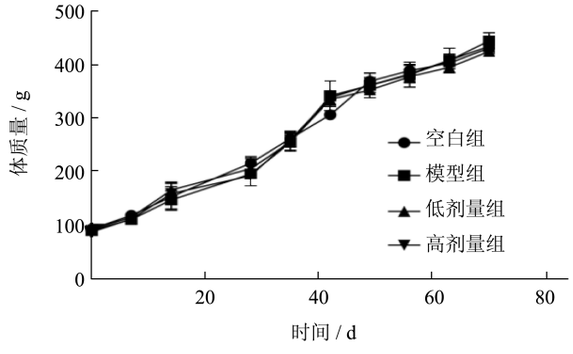


图 1 干酪乳酪杆菌 IOB-P9 燕麦后生元对不同组别大鼠的体质量变化

Fig.1 Changes in body weight of different groups of rats by *Lactobacillus casei* IOB-P9 oat postbiotic (*n*=10)

2.2 对大鼠Lee’s指数和脂体比的影响

Lee’s 指数和脂体比能够比较直观的反映大鼠生长过程中的肥胖状态。朱磊[24]等证实了高脂饮食能够显著提升大鼠的 Lee’s 指数与脂体比。

实验结果如图所示，与空白对照组相比，模型组的 Lee’s 指数和脂体比显著升高，低、高剂量组并未恢复到正常水平。与模型组相比，低、高剂量组大鼠的 Lee’s 指数和脂体比呈现降低的趋势，Lee’s 指数分别降低了 3.45% 和 3.91%；脂体比分别降低了 2.54% 和 23.97%。表明 IOB-P9 燕麦后生元粉能够改善大鼠的脂体比，且高剂量组的作用效果更显著（$P<0.05$）。

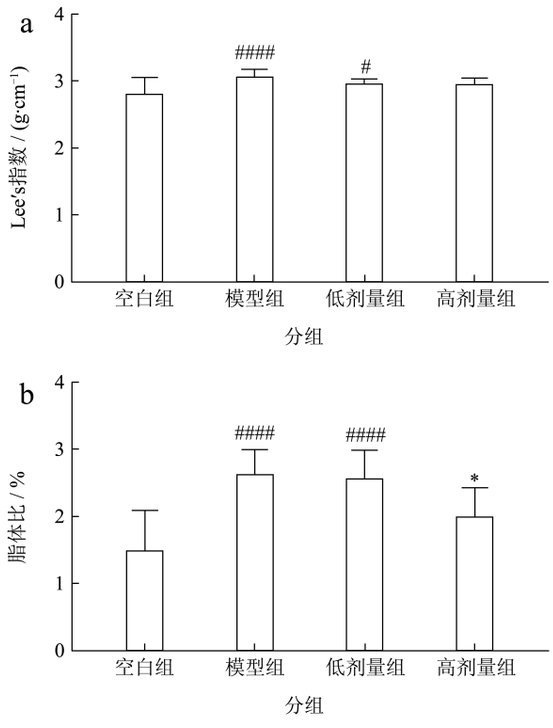


图 2 干酪乳酪杆菌 IOB-P9 燕麦后生元对大鼠 Lee’s 指数和脂体比的影响

Fig.2 Effect of *Lactobacillus casei* IOB-P9 oat postbiotic on Lee’s index and body fat ratio in rats

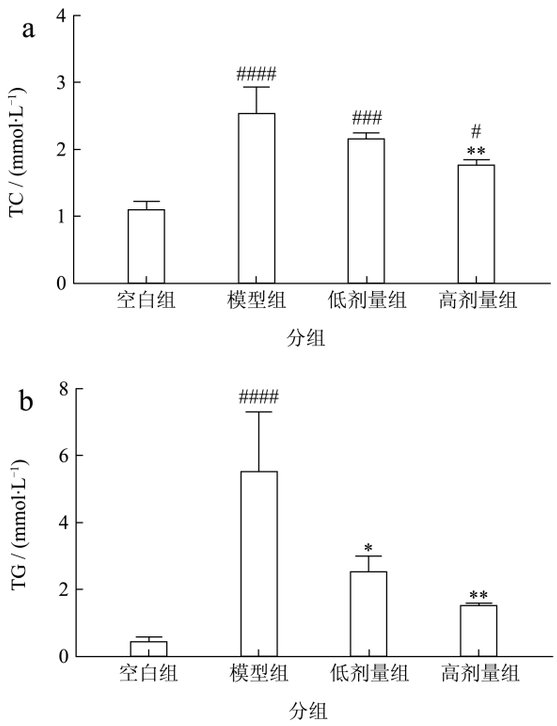
注：a：Lee’ 指数；b：脂体比。与空白组相比，# 表示差异显著（$P<0.05$）；### 表示差异极显著（$P<0.001$）；#### 表示差异高度显著（$P<0.000\ 1$）；与模型组相比，* 表示差异显著（$P<0.05$）。

2.3 对大鼠血清生化指标的影响

肥胖与血脂异常密切相关。如图 3 所示，与空白对照组相比，模型组的血清中总胆固醇（TC）、甘油三酯（TG）、低密度脂蛋白胆固醇值（LDL-C）和空腹血糖值（Glu）明显升高，表明模型组的血脂水平明显升高；低、高剂量组的血脂水平和空腹血糖并未恢复到正常水平。与模型组相比，低剂量组的 TC、TG、LDL-C 和 Glu 分别显著降低了 14.4.%、53.86%、31.92%、42.22%；高剂量组的 TC、TG、LDL-C

和 Glu 分别显著降低了 30.48%、71.77%、46.92%、70.94%（$P<0.01$）。模型组的高密度脂蛋白胆固醇值（HDL-C）水平显著低于空白对照组（$P<0.000\ 1$），而与模型组相比，低、高剂量组均显著升高了血清 HDL-C 水平（低剂量组升高 20.98%，高剂量组升高 55.94%，$P<0.001$），且高剂量组升高效果更明显，但均未恢复到正常水平。实验结果表明，IOB-P9 燕麦后生元能够降低大鼠空腹血糖值，改善肥胖大鼠脂代谢紊乱，有效改善肥胖症的进一步发展。

机体中脂肪堆积过量会导致 TC、TG 和 LDL-C 水平升高，加快 HDL-C 降解，抑制胰岛素敏感性，损害内皮功能，造成脂肪组织的功能紊乱和胰岛素抵抗，并增加心血管疾病的风险[25]。肥胖还与血糖有着密切联系。文献证明，肥胖者的空腹血糖水平显著高于正常体质量者，且与心血管疾病风险增加相关。肥胖者的胰岛素抵抗会导致胰岛素分泌增加，以维持正常的血糖水平。然而，随着胰岛素抵抗的加重，胰岛素分泌逐渐不足，最终导致空腹血糖水平升高[26]。经过干酪乳酪杆菌 IOB-P9 燕麦后生元粉干预治疗后，肥胖大鼠的 TC、TG、LDL-C 和 Glu 值均降低，表明干酪乳酪杆菌 IOB-P9 燕麦后生元粉能够调节脂代谢紊乱，减少肥胖大鼠体内脂肪和血糖的堆积，降低大鼠患肥胖相关疾病的风险。



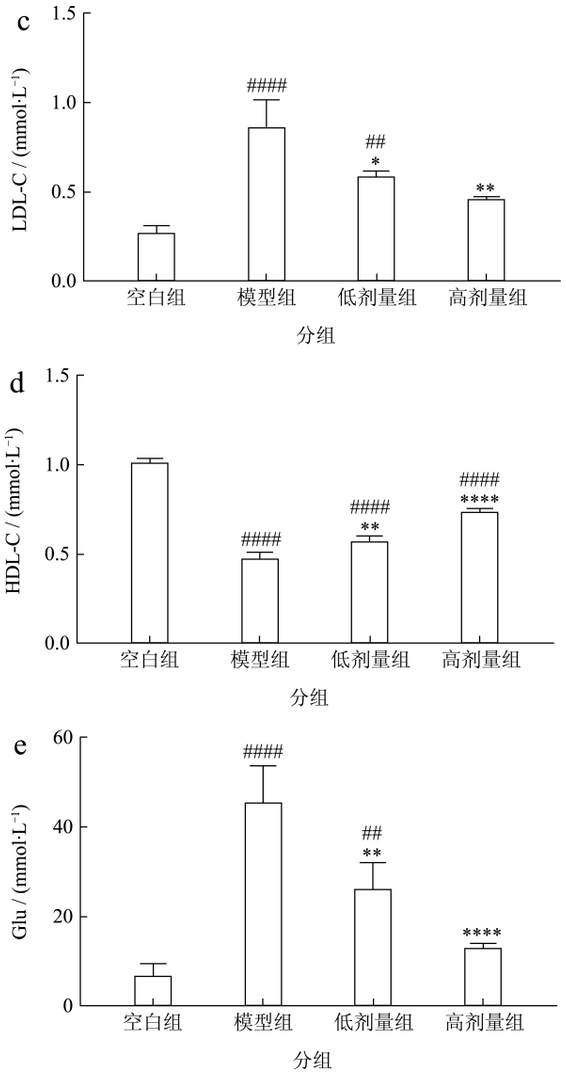


图 3 干酪乳酪杆菌 IOB-P9 燕麦后生元对大鼠血清生化指标的影响

Fig.3 Effect of *Lactobacillus casei* IOB-P9 oat postbiotic on serum biochemical indices in rats

注：a：TC 含量；b：TG 含量；c：LDL-C 含量；d：HDL-C 含量；e：Glu 含量。与空白组相比，# 表示差异显著（$P<0.05$）；## 表示差异较显著（$P<0.01$）；### 表示差异极显著（$P<0.001$）；#### 表示差异高度显著（$P<0.000\ 1$）；与模型组相比，* 表示差异显著（$P<0.05$）；** 表示差异较显著（$P<0.01$）；*** 表示差异极显著（$P<0.001$）；**** 表示差异高度显著（$P<0.000\ 1$）。

2.4 对大鼠血清瘦素和血清皮质酮的影响

瘦素是一种由脂肪组织分泌的激素，它在血清中的含量与脂肪组织大小成正比，当体脂减少或处于低

能量的状态下，血清中瘦素的含量会明显下降。血清皮质酮是由肾上腺皮质分泌的糖皮质激素，皮质酮通过促进食欲和脂肪积累直接导致肥胖，慢性升高的皮质酮水平与肥胖的发生发展密切相关[27]。不同组别大鼠血清瘦素和血清皮质酮水平如图 4 所示，与空白对照组相比，模型组大鼠的血清瘦素和血清皮质酮含量显著增加（$P<0.001$）；低、高剂量组的血清瘦素和血清皮质酮含量并未恢复到正常水平。经 IOB-P9 燕麦后生元干预后降低了肥胖症大鼠的血清瘦素和血清皮质酮水平，与模型组相比，低、高剂量组大鼠的血清瘦素水平均显著下降（$P<0.000\ 1$），分别降低了 40.10% 和 57.93%；低、高剂量组血清皮质酮水平也显著降低，分别降低了 20.90%~40.16%（$P<0.05$）。表明 IOB-P9 燕麦后生元能够显著调控血清中瘦素水平和血清皮质酮达到控制肥胖的作用。

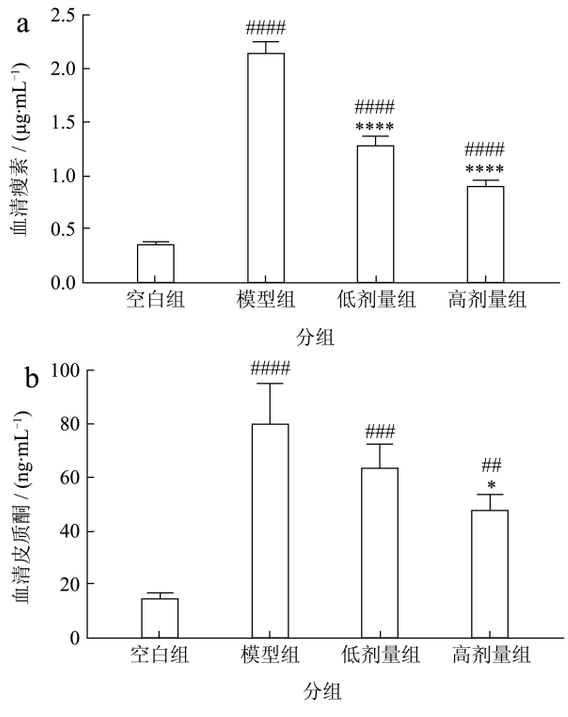


图 4 干酪乳酪杆菌 IOB-P9 燕麦后生元对大鼠血清皮质酮和血清瘦素指标的影响

Fig.4 Effects of *Lactobacillus casei* IOB-P9 oat postbiotic on serum leptin and serum corticosterone indices in rats

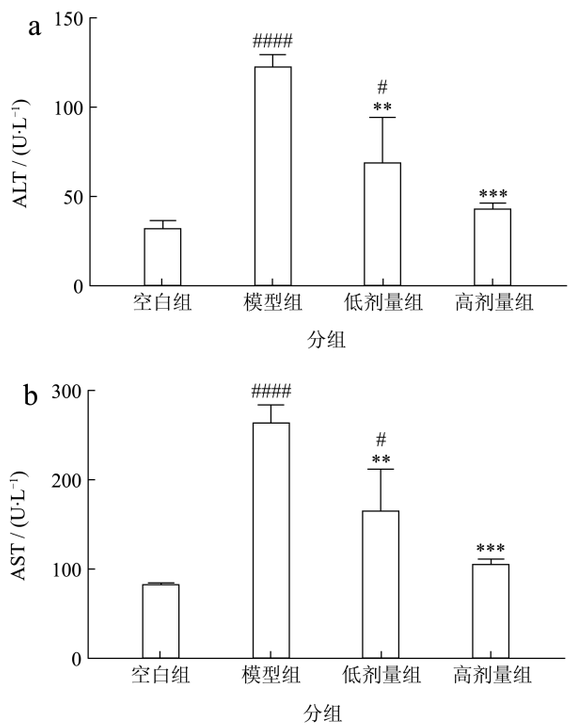
注：a：血清瘦素含量；b：血清皮质酮含量。与空白组相比，## 表示差异较显著（$P<0.01$）；### 表示差异极显著（$P<0.001$）；#### 表示差异高度显著（$P<0.000\ 1$）；与模型组相比，* 表示差异显著（$P<0.05$）；**** 表示差异高度显著（$P<0.000\ 1$）。

研究证明，在肥胖人群中，血清瘦素水平通常较高，这主要是因为脂肪细胞的增多导致瘦素分泌增加瘦素水平的升高还与慢性低度炎症状态有关，这可能进一步加剧肥胖相关的代谢紊乱[28,29]。本研究结果证明干酪乳酪杆菌 IOB-P9 燕麦后生元粉能够调控血清瘦素和血清皮质酮水平达到控制肥胖的作用。文献报道干酪乳酪杆菌可调节肠道菌群结构，尤其能增加双歧杆菌、乳杆菌等短链脂肪酸产生菌的丰度，这些菌群代谢产生的短链脂肪酸，能通过多种机制影响宿主代谢：一方面，乙酸等能通过激活 FFAR2 受体刺激白色脂肪组织分泌瘦素；另一方面，短链脂肪酸还可降低肠道通透性，减少脂多糖入血，从而抑制 TLR4/NLRP3/MyD88 等炎症因子信号通路，降低血清皮质酮水平，最终改善肥胖状态[30,31]。

2.5 对大鼠肝脏功能指标的影响

ALT（丙氨酸氨基转移酶）、AST（天门冬氨酸氨基转移酶）和 ALP（碱性磷酸酶）主要存在于肝脏细胞中，是肝细胞损伤的敏感指标，肥胖引起的代谢紊乱，如胰岛素抵抗、炎症和氧化应激，可导致肝细胞损伤，进而引起 ALT、AST 和 ALP 水平升高[32]。

不同组别血清 ALT、AST、ALP 水平如图 5 所示。与空白对照组相比，模型组中的 ALT、AST、ALP 水平显著升高（$P<0.001$），表明模型组肥胖大鼠的肝脏细胞已经受损；低、高剂量组的 ALT、AST、ALP 含量并未恢复到正常水平。经过 IOB-P9 燕麦后生元干预治疗后，与模型组相比，低、高剂量组的 ALT、AST 水平均显著降低（$P<0.000\ 1$），低剂量组分别降低了 59.65% 和 37.31%；高剂量组分别降低了 74.88%、59.88%，此外，高剂量组显著降低了 20.34% 的 ALP 水平。表明 IOB-P9 燕麦后生元能够有效改善肥胖引起的肝组织损伤。



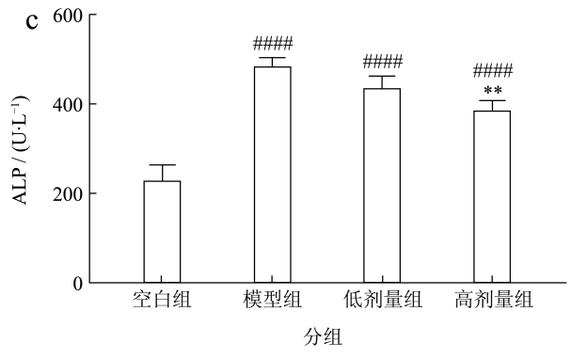


图 5 干酪乳酪杆菌 IOB-P9 燕麦后生元对大鼠肝脏功能指标的影响

Fig.5 Effects of *Lactobacillus casei* IOB-P9 oat postbiotic on functional indices of the rat liver

注：a：ALT 含量；b：AST 含量；c：ALP 含量。与空白组相比，# 表示差异显著（$P<0.05$）；### 表示差异极显著（$P<0.001$）；#### 表示差异高度显著（$P<0.000\,1$）；与模型组相比，** 表示差异较显著（$P<0.01$）；*** 表示差异极显著（$P<0.001$）。

研究表明，肥胖与肝功能指标的升高密切相关，且这种关联可能与胰岛素抵抗、慢性炎症和脂肪肝等多种疾病相关。ALT、AST 和 ALP 主要存在于肝脏细胞中，是检测肝脏功能是否健康的重要指标，肥胖引起的胰岛素抵抗和慢性低度炎症会干扰肝细胞的正常功能，导致 ALT 和 AST 水平升高。且 AST/ALT 比值的变化可能提示肝损伤的严重程度。同时，肥胖也可导致肠道 ALP 大量释放，造成血液中的 ALP 水平升高，引起炎症和代谢失衡，这又会进一步引起肝组织损伤和肠道疾病[33]。本研究结果显示，与模型组相比，治疗组的 ALT、AST 和 ALP 水平均显著下降，这表明干酪乳酪杆菌 IOB-P9 燕麦后生元能够调控肥胖症与肝功能相关的血清水平，有效改善由于肥胖引起的代谢紊乱和肝脏受损状态。

2.6 对大鼠肝脏组织形态的影响

HE 染色结果显示，空白组肝细胞结构正常，细胞核位于中央，细胞质均匀，未见明显脂肪变性；经过高脂饲料喂养的模型组肝细胞出现脂肪变性，肝细胞排列密集紊乱，组织形态不规则，细胞边缘模糊，细胞受到严重损伤。经干酪乳酪杆菌 IOB-P9 燕麦后生元粉干预治疗后，肝脏细胞脂滴变小，降低了肝脏细胞排列紊乱的状态，肝细胞结构有所改善，脂肪变性减轻，细胞核位置恢复正常，细胞质均匀度提高。高剂量组肝脏细胞脂滴数量和肝脏细胞排列紊乱的状态显著降低，逐渐恢复到空白组的正常水平。

油红 O 染色结果显示，空白组肝脏细胞未见明显脂质沉积，染色较浅；经过高脂饲料喂养的模型组脂质沉积明显，脂肪滴数量多且体积大，染色较深，呈现出大块的红色脂肪滴。经干酪乳酪杆菌 IOB-P9 燕麦后生元粉干预治疗后，红色脂肪滴面积减少且体积变小，脂质沉积减少，同时，高剂量组的脂质沉积明显降低，表现为红色脂肪滴面积大量减少，且排列较为稀疏，呈现出与空白组相近的颜色，组织形态也与空白组最为接近。现有研究证实，益生菌可部分逆转脂肪肝，能够降低脂滴面积和脂滴数量，促进受损组织的恢复[34]。以上结果表明经过干酪乳酪杆菌 IOB-P9 燕麦后生元干预治疗后，能够促进肝脏受损细胞恢复到正常状态。

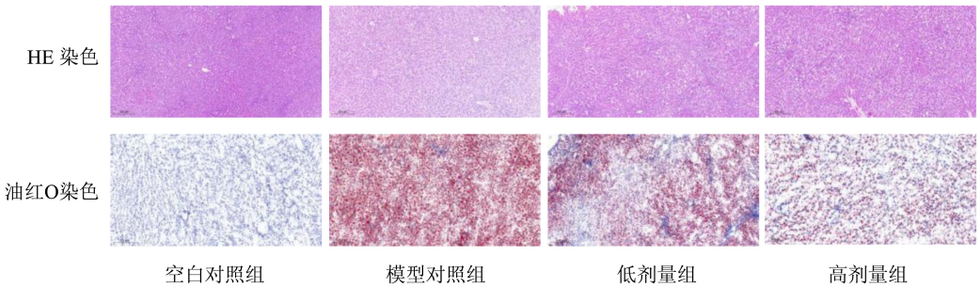


图 6 干酪乳酪杆菌 IOB-P9 燕麦后生元对大鼠肝脏的病理学影响

Fig.6 Pathologic effects of *Lactobacillus casei* IOB-P9 oat postbiotic on rat liver

注：HE 染色和油红 O 染色，放大倍数为 200×。

3 结论

本研究采用干酪乳酪杆菌 IOB-P9 燕麦后生元干预肥胖大鼠，评价其减肥功效，其减肥机制部分与调节脂质代谢、改善激素水平及增强肝脏功能相关。试验发现，燕麦后生元能够降低肥胖大鼠 Lee's 值和脂体比，降低 TC、TG、LDL-C 和 Glu 水平，升高 HDL-C 水平，表现出良好的调节脂质代谢能力。此外，燕麦后生元在不同程度上降低大鼠血清瘦素和血清皮质酮水平，同时降低血清 ALT、ALP 和 AST 含量，促进肥胖大鼠血清生化指标与肝脏功能指标恢复，发挥保护肝脏、缓解肥胖代谢紊乱的作用。值得注意的是，目前减肥

市场中以燕麦为核心原料的产品多添加燕麦粉[35,36]，未见在减肥产品中添加燕麦后生元的报道。后生元在稳定性、安全性和生产成本方面具有优势，燕麦后生元在减肥产品开发中具有独特的潜力。燕麦粉主要通过其丰富的膳食纤维成分发挥作用，而燕麦后生元除了含有燕麦粉中的膳食纤维外，还包含灭活的干酪乳酪杆菌及其代谢产物[37]。文献报道后生元能通过调节肠道菌群影响代谢酶活性，如激活肝脏 AMPK 通路，促进脂肪分解并减少脂肪合成；还可直接激活肠道 L 细胞分泌胰高血糖素样肽-1 和酪酪肽，调节能量代谢和食欲[38]。因此，相较于单纯添加燕麦粉，燕麦后生元可能通过更综合的作用机制缓解肥胖引发的代谢紊乱。本实验相关研究结果，为燕麦后生元在减肥领域的广泛应用提供更坚实的理论依据，其具体作用机制有待进一步深入研究。

参考文献

[1] 张丽娜,潘琦.肥胖及相关疾病的研究进展[J].中国医学前沿杂志(电子版),2025,17(1):86-87.

[2] ZENG Q, LI N, PAN X F, et al. Clinical management and treatment of obesity in China [J]. Lancet Diabetes Endocrinol, 2021, 9(6): 393-405.

[3] 刘若亚,董晨阳,黄志扬,等.运动结合饮食干预对肥胖合并2型糖尿病患者健康效应研究[J].中国预防医学杂志,2024,25(4):436-445.

[4] 张宗峰,买热排提·哈力木拉提,苏米亚·艾合买提江,等.燕麦麸皮对糖脂代谢紊乱大鼠血糖血脂的作用[J].中国食物与营养,2023,29(1):64-69.

[5] 张亚琨,张美莉,谢念念,等.燕麦麸皮体外调节肥胖人群肠道微生物及抗氧化性[J].中国食品学报,2023,23(5):59-68.

[6] 白雪.预处理燕麦麸皮改善肠道菌群和调节糖脂代谢作用机制研究[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2023.

[7] 王亚南,乔月静,范雅琦,等.燕麦与不同作物间作对土壤线虫群落结构及作物产量的影响[J].中国生态农业学报(中英文),2023,31(4):11.

[8] IZQUIERDO-ALTAREJOS P, ARENAS Y M, MONTOLIU C, et al. Extracellular vesicles from *Lacticaseibacillus paracasei* reduce neuroinflammation in hippocampus and restore some cognitive functions in hyperammonemic rats [J]. Microbiological Research, 2025, 294: 128101.

[9] HE Q, ZHANG Y, MA D, et al. *Lactobacillus casei* Zhang exerts anti-obesity effect to obese glut1 and gut-specific-glut1 knockout mice via gut microbiota modulation mediated different metagenomic pathways [J]. European Journal of Nutrition, 2022, 61(4): 2003-2014.

[10] 郎春辉,王世杰,朱宏,等.乳酸菌(*Lactobacillus casei* N1115)的免疫调节功能及对前脂肪细胞分化影响的初步研究[C]//乳酸菌与健康国际研讨会.北京:中国食品科学技术学会,2013.

[11] YOU J, LIU W, HUANG Y, et al. *Akkermansia muciniphila* PROBIO ameliorates overweight via gut microbiota modulation: a randomized controlled trial [J]. Food Science and Human Wellness, 2025, 18: 659.

[12] LEE A H, MANLY A, DONG T S. Leveraging the microbiome for obesity: moving from form to function [J]. Frontiers in Endocrinology, 2022, 13: 918923.

[13] FAN Z, JIA W. *Lactobacillus casei*-derived postbiotics inhibited digestion of triglycerides, glycerol phospholipids and sterol lipids via allosteric regulation of BSSL, PTL and PLA2 to prevent obesity: perspectives on deep learning integrated multi-omics [J]. Food & Function, 2023, 14(16): 7439-7456.

[14] PALADE C M, VULPOI G A, VULPOI R A, et al. The Biotics Family: Current Knowledge and Future Perspectives in Metabolic Diseases [J]. Life (Basel), 2022, 12(8): 1263.

[15] VALENZUELA P L, CARRERA-BASTOS P, CASTILLO-GARCÍA A, et al. Obesity and the risk of cardiometabolic diseases [J]. Nature Reviews Cardiology, 2023, 20(7): 475-494.

[16] ZHANG Z, ZHOU H, ZHOU X, et al. *Lactobacillus casei* YRL577 ameliorates markers of non-alcoholic fatty liver and alters expression of genes within the intestinal bile acid pathway [J]. British Journal of Nutrition, 2020, 124(10): 1083-1092.

[17] MIAO Z H, WANG J N, SHEN X, et al. Long-term use of *Lacticaseibacillus paracasei* N1115 from early life alleviates high-fat diet-induced obesity and metabolic disorders in mice [J]. Beneficial Microbe, 2022, 13(1): 37-50.

[18] 天津科技大学,天津创源生物技术有限公司.一种干酪乳杆菌IOB-P9抗幽门螺杆菌活性物质分离的制备和分离纯化方法和应用:中国,202411778087.5[P].2025-03-04.

[19] 天津创源生物技术有限公司.一种灭活干酪乳杆菌IOB-P9后生元粉在降糖方面的应用:中国,202210525330.7[P].2022-08-09.

[20] JALILI V, POORAHMADI Z, HASANPOUR ARDEKANIZADEH N, et al. The association between obesity with serum levels of liver enzymes, alanine aminotransferase, aspartate aminotransferase, alkaline phosphatase and gamma-glutamyl transferase in adult women [J]. Endocrinology Diabetes and Metabolism, 2022, 5(6): e367.

[21] 赵祥运,梁慧洁,陆诗发,等.鼠李糖乳杆菌对非酒精性脂肪肝病小鼠肠道菌群及血清因子的影响[J].中国病原生物学杂志,2024,19(11):1283-1289,1294.

[22] VILARIÑO-GARCÍA T, POLONIO-GONZÁLEZ M L, PÉREZ-PÉREZ A, et al. Role of leptin in obesity, cardiovascular disease, and type 2 diabetes[J]. International Journal of Molecular Sciences, 2024, 25(4): 2338.

[23] KHOMSAN A, SURONO I S. Viabilitas bakteri probiotik *in-vitro* dan pengaruh pemberian air oksigen terhadap pertumbuhan bakteri probiotik secara *in-vivo* [J]. Jurnal Gizi dan Pangan, 2007, 2(1): 22-28.

[24] 朱磊,路瑛丽,冯连世,等.不同配方高脂饲料构建SD大鼠肥胖模型的实验研究[J].中国运动医学杂志,2016,35(7):642-647.

[25] TELLES S, PAL S, SHARMA S K, et al. The association between the lipid profile and fasting blood glucose with weight related outcomes in healthy obese adults [J]. BioMed Central Research Notes, 2018, 11(1): 383.

[26] AKTER R, NESSA A, HUSAIN M F, et al. Effect of obesity on

fasting blood sugar [J]. Mymensingh Medical Journal, 2017, 26(1): 7-11.

[27] PERAKAKIS N, FARR O M, MANTZOROS C S. Leptin in Leanness and Obesity: JACC State-of-the-Art Review [J]. Am Coll Cardiol, 2021, 77(6):745-760.

[28] TSAI J P. The association of serum leptin levels with metabolic diseases [J]. Tzu Chi Medical Journal, 2017, 29(4): 192-196.

[29] VILARIÑO-GARCÍA T, POLONIO-GONZÁLEZ M L, PÉREZ-PÉREZ A, et al. Role of leptin in obesity, cardiovascular disease, and type 2 diabetes [J]. International Journal of Molecular Sciences, 2024, 25(4): 2338.

[30] 肖灵,唐琳琳,宋晓妍,等.后生元调节肠道微生态及减少脑内β-淀粉样蛋白沉积改善阿尔茨海默病大鼠的认知障碍[J].食品科学,2025,46(5):182-193.

[31] LI S, LIU M, CAO S, et al. The Mechanism of the Gut-Brain Axis in Regulating Food Intake [J]. Nutrients, 2023, 15(17): 3728.

[32] EL-ESHMAWY M M. Impact of obesity on liver function tests: is nonalcoholic fatty liver disease the only player? A review article [J]. Porto Biomedical Journal, 2023, 8(5): e228.

[33] JI T, FANG B, ZHANG M, et al. Oat β-glucan inhibited obesity in mice through stem cell remodeling [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2025, 311(Pt 2): 143747.

[34] KIM I S, HWANG C W, YANG W S, et al. Multiple antioxidative and bioactive molecules of oats (*Avena sativa* L.) in human health [J]. Antioxidants, 2021, 10(9): 1454.

[35] 绿优品(福建)健康科技研发中心有限公司.一种减肥代餐奶昔及其制备方法:中国,202110440904.6[P].2021-06-22.

[36] 上海拜伦斯维生物科技中心.益生元代餐奶昔(益生餐)的配方:中国,201811199317.7[P].2019-01-11.

[37] 白雪.预处理燕麦麸皮改善肠道菌群和调节糖脂代谢作用机制研究[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2023.

[38] ZHONG Y, WANG T, LUO R, et al. Recent advances and potentiality of postbiotics in the food industry: Composition, inactivation methods, current applications in metabolic syndrome, and future trends [J]. Crit Rev Food Sci Nutr, 2024, 64(17): 5768-5792.